

工程图尺寸标注的网状文法*

闵卫东 唐泽圣 唐龙

(清华大学计算机科学与技术系 CAD 中心, 北京 100084)

摘要 机械工程图尺寸标注的识别与理解是最终识别和理解机械工程图的基础. 本文以国标 GB4458-84 为基础, 将尺寸标注分为 27 种模式和 48 种子模式, 并给出了其数学描述. 本文详细描述了尺寸标注的基于箭头匹配模式的网状文法.

关键词 尺寸标注*, 识别, 理解*, 模式, 网状文法*.

将工程图纸自动地输入计算机, 让计算机代替人迅速有效地完成存储、管理、修改、维护等繁重的工作, 这已经成了 CAD 领域的一个热门课题. 始于 70 年代的图纸自动输入技术的研究成果, 概括起来属于下列 3 类. 第 1 类相当于一个图形拷贝机, 能输出和原图相差无几的由矢量组成的图. 第 2 类能识别一些简单的几何图素和字符, 虽然大大地降低了数据存储量, 但并未体现图形内在的逻辑关系. 第 3 类试图用图形的内在逻辑关系来表示图形, 从而实现了对图形的识别与理解, 目前只有一些学术上的研究.

要识别和理解机械工程图, 不但要识别出几何实体(如符号、线、字符等)、正确地分离出图纸的标注部分, 而且要识别标注部分与几何实体之间的逻辑关系. 从直观形象的角度来说, 就是从机械工程图的三视图能重建三维模型或从单张视图建立其 2.5D 模型. 因此, 识别和理解机械工程图的说明信息即尺寸标注成了真正实现识别和理解机械工程图的关键的一步.

目前在这方面的研究工作刚刚起步, 从事这方面工作的有 Haralick、^[7]Dori^[4-6]等. 文献 [7] 只讨论三维重显, 对如何从扫描进来的图象中提取逻辑关系并未作探讨. D. Dori 对机械工程图的尺寸标注的识别和理解作了理论上的描述, 但和实际应用有很大差距.

本文的工作是识别和理解机械工程图的逻辑关系. 本文以国标 GB4458-84^[9]为基础, 将尺寸标注分为 27 种模式和 48 种子模式, 并给出了其数学描述. 本文用基于箭头匹配模式的网状文法描述了尺寸标注. 基于该网状文法的尺寸标注的识别与理解系统已在 HP 工作站上用 C 语言实现. 该系统能有效地识别和理解上述的 27 种尺寸标注模式和 48 种子模式.

* 本文 1991-11-26 收到, 1992-03-08 定稿

本文是国家教委博士点基金资助项目. 作者闵卫东, 28 岁, 博士生, 主要研究领域为计算机图形学, 工程图输入与理解, 计算几何. 唐泽圣, 62 岁, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为计算机图形学, 计算机辅助设计技术, 计算几何. 唐龙, 56 岁, 副教授, 主要研究领域为计算图形学, 计算机辅助设计技术, 工程图输入与理解.

本文通讯联系人: 闵卫东, 北京 100084, 清华大学计算机科学与技术系 CAD 中心

1 机械工程图尺寸标注的组成和分类

1.1 尺寸标注的组成

根据 GB4458—84, 一个完整的尺寸标注包括: 尺寸线(简记为 S)、尺寸界线(又叫引引线, 简记为 W)、箭头(简记为 A)、尺寸数字(又叫尺寸文本, 简记为 T); 狭小部分还包括尾线(简记为 L); 尺寸标注的识别与理解还包括尺寸标注所指向的轮廓线(包括隐藏线, 简记为 C), 如图 1.1 所示. 倒角只包含 L、T、C 三部分(见图 1.2). 综上所述, 尺寸标注的组成为: $\Omega = \{C, W, S, L, A, T\}$.

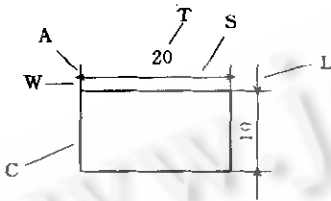


图1.1 尺寸标注的组成

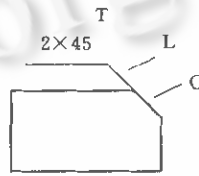


图1.2 倒角标注的组成

1.2 尺寸标注的拓扑结构分类^[4,5]

定义尺寸标注的正则性和对称性如下.

正则性: 如果尺寸线足够长, 能置放箭头和尺寸数字, 或不够长, 尺寸数字和箭头都置放在尺寸线之外, 则称这种尺寸标注为正则的 (Regular), 简记为正则性为 R. 否则称之为非正则的 (Irregular), 简记为正则性为 I.

对称性: 如果尺寸标注的尺寸线足够长来放置尺寸数字, 这时尺寸数字在两个箭头之间沿尺寸线对称置放, 则称这种尺寸标注为对称的 (Symmetric), 简记为对称性为 S. 否则称这种尺寸标注为非对称的 (Asymmetric), 简记为对称性为 A.

按正则性和对称性, 可以将尺寸标注分为四种类型: 正则对称型 (RS 型)、正则非对称型 (RA 型)、非正则对称型 (IS 型)、非正则非对称型 (IA 型), 见图 1.3. 半径型的尺寸标注只有一个箭头, 可以看成在圆心有一个虚拟箭头.

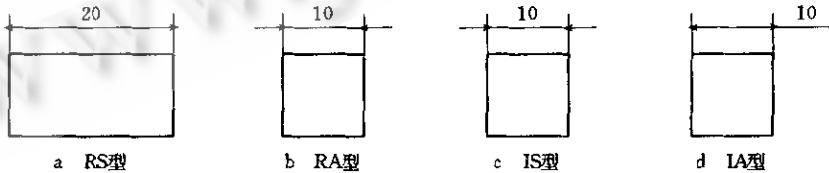


图1.3 尺寸标注的拓扑结构分类

1.3 尺寸标注的几何功能分类

尺寸标注按其几何功能可分为七类, 即: 线型(简记为 L 型)、角度型(简记为 A 型)、整圆型(简记为 C 型)、直径型(简记为 D 型)、半径型(简记为 R 型)、螺母型(简记为 M 型)、倒

角型(简记为 F 型),见图 1.4. 尺寸标注的功能分类集合记作 $\Delta = \{L, A, C, D, R, M, F\}$.

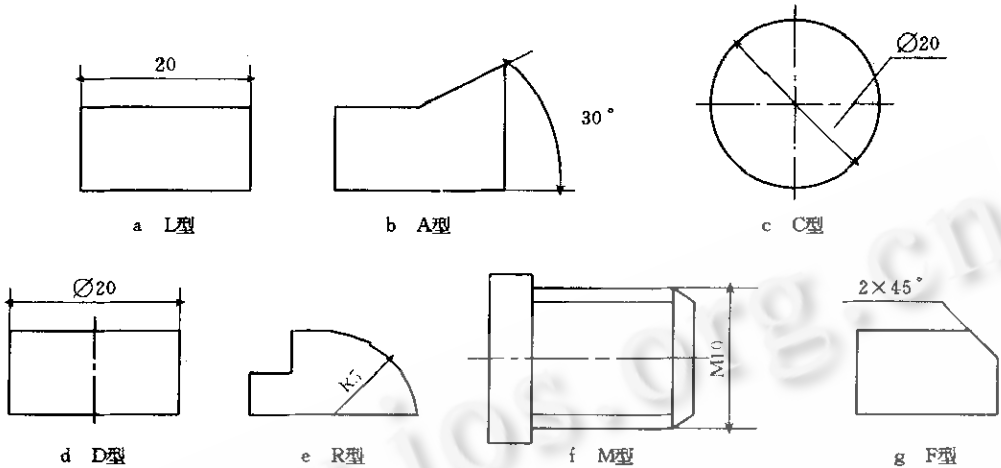


图1.4 尺寸标注的几何功能分类

以箭头作为提示的箭头型尺寸标注分为完全型与不完全型 2 类. 具有两个箭头的尺寸标注(包括具有隐含箭头的尺寸标注链)称为完全型尺寸标注. 只有一个箭头的尺寸标注称为不完全型尺寸标注,它包括 R 型、对称的省略方式的 C 型和 D 型(分别简记为 EC 型和 ED 型,见图 1.5).

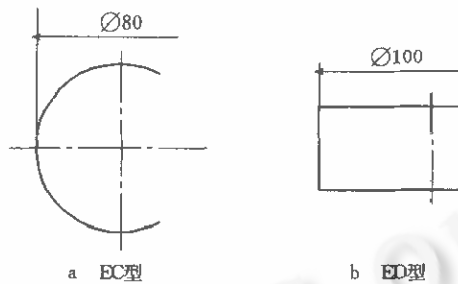


图1.5 不完全C型和不完全D型

2 尺寸标注的模式描述

2.1 线的属性

一条线可以用四元组 $\langle \gamma \lambda \varphi \eta \rangle$ 来描述. 其中 γ 表示该线属于哪种几何实体,可取值为 $\{v, a, b, d, c\}$, 分别表示直线、圆弧、折线、直线间断线(即尺寸数字标在尺寸线中间时尺寸线的几何实体类型)和圆弧间断线. λ 表示该线的长度,它的可取值为 $\{l, s, z\}$, 分别表示长、短和零. φ 表示该线的线型,在尺寸标注中取值为 $\{c, d, t\}$, 分别表示实线、虚线和点划线. η 表示线宽,取值为 $\{w, n, z\}$, 分别表示宽、窄、零.

我们约定,当四元组的某个元素取值它本身的符号,则该线的该项属性可以取所有可取值. 如 φ 取值为 φ 则表明它可取 φ 的 3 个允许值 $\{c, d, t\}$ 的任何一个. 可取值上面加非,表示可以取该值之外的其他值. 例如, φ 取值为 \bar{c} , 则表示可取值 d 或 t . 我们还约定,如果 γ 取值为 v 或 a , 则记为 γ 取值 r . 如果 γ 取值为 v 或 b , 则记为 γ 取值 u . 例如,一条线的属性为

<u zcw>,表示该线为直线或折线,长度为长或短,一条宽实线.

2.2 尺寸标注的 27 种模式和 48 种子模式

尺寸标注的 L、A、C、D、R、M 型每一种都有对称性、正则性的四种组合,共有 24 种模式.加上 F 型和 EC、ED 型,总共有 27 种模式.由于有间断线、虚尺寸线(即尺寸线不存在)等情况,又可细分为 48 种子模式.

L 型尺寸标注的 8 种子模式的示意图见图 2.1.图中 h 的尺寸线与垂直方向夹角小于 30°.图中 e、f、g、h 的小方框表示尺寸数字可以置放的位置.但是对于一个特定样本(模式的一个具体的例子),尺寸数字只能在其中某一个小方框位置置放.

这 8 个子模式的描述见表 1.其中 L(尾线)、S(尺寸线)、W(尺寸界线)和 C(轮廓线)取它们的线的属性的四元组,A(箭头)取的是箭头个数,T(尺寸数字)取的是尺寸标注功能类型.表中的模式号是对子模式的编号;类型是指尺寸标注的类型,它的取值说明尺寸标注的正则性、对称性和功能分类.例如,RSL 表示正则对称 L 型.A、C、D、R、M、F 型尺寸标注的模式分类及描述类似,为篇幅所限,从略.

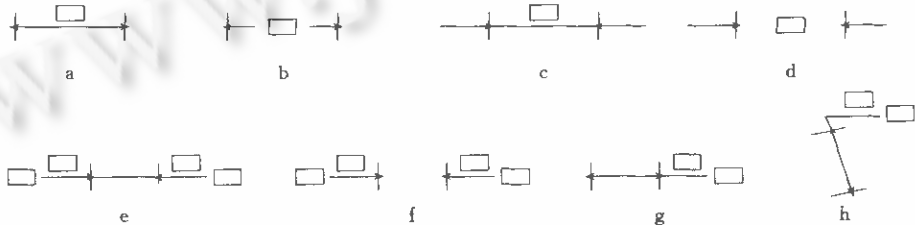


图 2.1 L 型尺寸标注的 8 种子模式的拓扑结构

表 1 L 型尺寸标注的 8 种子模式的数学描述

模式号	类型	L	S	W	C	A	T
1	RSL	/	v l c n	v s d n	r l t w	2	L
2	RSL	/	d l c n	v s d n	r l t w	2	L
3	ISL	v s c n	v s c n	v l d n	r l t w	2	L
4	ISL	v s c n	/	v l d n	r l t w	2	L
5	RAL	u z c n	v s c n	v l d n	r l t w	2	L
6	RAL	u z c n	/	v l d n	r l t w	2	L
7	IAL	u z c n	v s c n	v l d n	r l t w	2	L
8	IAL	u z c n	v z c n	v l d n	r l t w	2	L

3 箭头匹配

识别尺寸标注要从某一个元素的检测开始.尺寸线、尺寸界线、尾线和轮廓线与物体线相似,尺寸数字有定位和走向问题,都不适合充当这个角色.因而识别箭头型尺寸标注要从箭头检测开始.

箭头用统计的方法进行提取.尺寸线可以是间断线,还可以没有尺寸线.哪两个箭头是一个完全型尺寸标注的一对箭头?哪个是不完全型尺寸标注的一个箭头?在两个尺寸标注共用一个箭头和尺寸标注链情况下,其箭头要作为多个尺寸标注的检测入口.所有这些都靠箭头匹配解决.识别尺寸标注要基于箭头匹配.

3.1 一些基本概念

向上的垂直箭头、向右的水平箭头、向右的斜箭头以及顺时针走向的弧箭头称为正向箭头;反之称为反向箭头. 箭头尖端共点,且其所在线共线或共圆的两个箭头称为对顶箭头对,其中的一个箭头称为对顶箭头(见图 3. 1). 两个尺寸标注公用的箭头称为共用箭头(见图 3. 2). 属于 R 型、EC 型、ED 型等尺寸标注,可单独存在的箭头称为单箭头. 应成双存在的箭头称为双箭头. 确定某箭头是单箭头或双箭头,叫做箭头匹配.

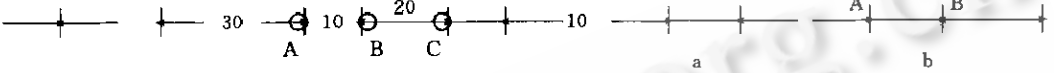


图3.1 对顶箭头

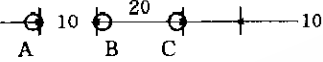


图3.2 共用箭头

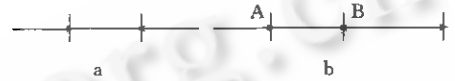


图3.3 搜索因子的约束作用

3.2 箭头匹配模式

图 3.3 a 所示的双箭头尺寸标注,尺寸数字可以在两箭头中间,也可以在左边的箭头的左边的或右边的箭头的右边. 但是图 3.3 b 箭头 A、B 组成的尺寸标注的尺寸数字却不能在箭头 B 的右边. 在箭头匹配时每一个箭头都有一个尺寸数字搜索方位约束因子(简称搜索因子),其取值为 Y 则表明起约束作用,不能沿箭头方向向外搜寻尺寸数字,取值为 N 则表示可以搜寻,不起约束作用. 单箭头的搜索因子无意义;共用箭头和对顶箭头的搜索因子取值 Y;其它情况搜索因子取值 N.

根据搜索因子,箭头匹配模式分为 9 种(见图 3.4). 图中的 a、b、d 是双箭头且其中至少有一个箭头的搜索因子为 N,它们可以是对称型或非对称型尺寸标注,其对应的箭头匹配状态分别为 TWO_1、TWO_2、TWO_4. 图中的 e、f、g 是双箭头且两个箭头的搜索因子都为 Y,它们只能是对称型尺寸标注,其对应的箭头匹配状态分别为 TWO_5、TWO_6、TWO_8. 图中 h、i 分别是正向单箭头和反向单箭头,箭头匹配状态分别为 ONE_P、ONE_N. 图中 c 是双箭头对称型尺寸标注,箭头匹配状态为 TWO_3,箭头的搜索因子没有意义,尺寸数字一定出现在间断线中间.

箭头匹配模式可以用五元组(Ar_status, A, B, AC, BC)来表示. Ar_status 取值 9 种匹配状态, A、B 为两个箭头, AC、BC 为它们的搜索因子.

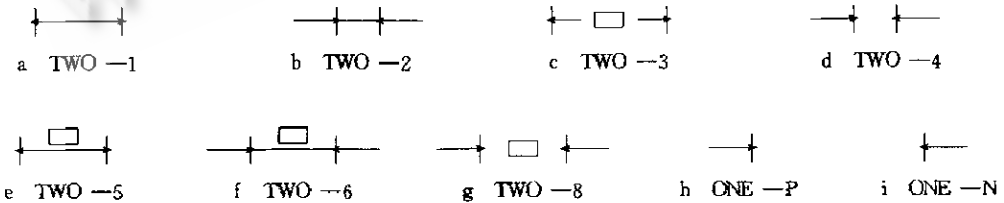


图3.4 9种箭头匹配模式

4 基于 9 种箭头匹配模式尺寸标注的网状文法

4.1 网状文法简介^[4]

1969 年,由 Peltz 和 Rosenfeld 提出的网状文法(Web Grammar)是二维文法中的一种.由一个网状文法所产生的句子,是在其节点(网)带有符号的有向图.网状文法是面向节点的,基元或者终止符被表达为图中的顶点.

一个网状文法是一个四元组: $G=(N,T,P,S)$.其中 N 是非终止符集; T 是终止符集; $S \in N$,是初始网的集; P 是网状产生式(或再写规则)的集. $V=N \cup T$.

一个网状产生式定义为一个三元组 (α,β,f) 其中 α,β 是网,而 f 是一个从 $N_\beta \times N_\alpha$ 影射到 2^V (符号集的子集)的一个函数,它指明由 β 代替 α 时, β 的节点如何与被移去的子网 α 的每一个相邻点进行连接.例如, $f(B,A)=\{C,D\}$ 的意思就是:将 β 中的 B 与 α 中 A 节点的标号为 C 或 D 的邻接点进行连接.

4.2 尺寸标注的联接符

一个尺寸标注是由 $\{C,W,S,L,A,T\}$ 组成的,其相邻的组成元素之间用取名为联接符的操作符连接.定义 10 种连接符及其含义如下: P_0 :非正则对称型双箭头型尺寸标注中当没有尺寸线时,尺寸数字与箭头的连接; P_1 :尺寸数字与尺寸线或尾线在线上方相连接; P_2 :箭头覆盖在尺寸线或尾线上; P_3 :箭头指向尺寸线; P_4 :尺寸界线或轮廓线被箭头穿刺; P_5 :尺寸界线指向轮廓线; P_6 :当尺寸线为间断线时尺寸数字与尺寸线的连接; P_7 :尺寸数字与尺寸线或尾线在线上方或侧边相连接; P_8 :正则非对称型双箭头型尺寸标注中当没有尺寸线时,两个箭头的连接; P_9 :非正则非对称型 R 型尺寸标注中尾线与尺寸线的连接.

利用以上定义的连接符,可以用网状结构来表示尺寸标注.图 4.1a 的尺寸标注的网状结构如图 4.1b 所示.

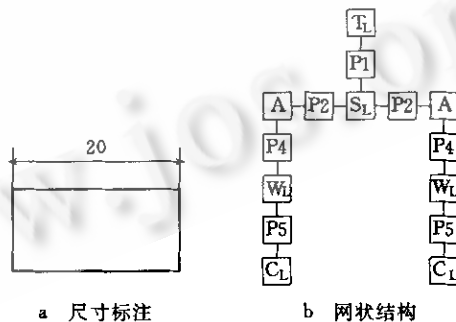


图4.1 网状结构表示的尺寸标注

4.3 尺寸标注的基于箭头匹配模式的网状文法

下面将用网状文法对箭头型尺寸标注的连接关系(即拓扑结构和逻辑连接关系)作进一步的描述.该网状文法基于上一节的 9 种箭头匹配状态.它能生成前面所定义的所有箭头型尺寸标注模式.当完全型尺寸标注的两个箭头的搜索因子一个为 Y ,一个为 N 时,该文法只给出左边箭头搜索因子为 N 的情况.当两个搜索因子都为 N 时,文法只给出尺寸数字在左

边箭头的情况.

尺寸标注的网状文法为: $G = \{N, TT, PP, SS\}$. 其中 $SS \in N$, 是开始符. N 为非终止符. TT 为终止符.

$N = \{SS, ONE, TWO, EC, ECD, RD, RSR, ISR, RAR, IAR, BR, TWO1, TWO2, TWO3, TWO4, TWO5, TWO6, TWO7, TWO8, TTWO1, TTWO2, TTWO4, BB\}$.

$T = \{\psi_\lambda, A\} \cup Q$. 其中 $\psi = \{C, W, S, L\}$ 是尺寸标注的组成元素轮廓线、引证线、尺寸线及尾线的集合. A 是箭头. $\lambda = \{L, A, C, D, R, M\}$ 是箭头型尺寸标注的类型. ψ_λ 表示类型 λ 的尺寸标注的 ψ 元素, 例如, W_C 表示 C 型尺寸标注的引证线. $Q = \{P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9\}$ 是连接符的集合.

PP 是尺寸标注的网状文法产生式规则, 它是一个三元组 (α, β, f) . 当 f 是正常的连接关系时, 它取值 Normal. 下面是尺寸标注网状文法的 22 条产生式规则.

规则 1: (单箭头尺寸标注和双箭头尺寸标注)

$\alpha = SS, \beta = ONE | TWO, f$ 为 Normal.

规则 2: (EC、ED、R 型尺寸标注)

$\alpha = ONE, \beta = EC | ECD | RD, f$ 为 Normal.

规则 3: (无尺寸界线的 EC 型)

$\alpha = EC, f$ 为 Normal, β 为图 4.2 所示.

规则 4: (有尺寸界线的 EC 型及 ED 型尺寸标注)

$\alpha = ECD, f$ 为 Normal, β 为图 4.3 所示.

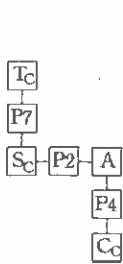


图 4.2



或

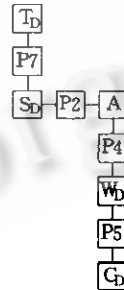


图 4.3

规则 5: (半径型尺寸标注的正则性对称性的四种组合)

$\alpha = RD, f$ 为 Normal, β 为图 4.4 所示.

规则 6: (正则对称型 R 型尺寸标注)

$\alpha = RSR, f(A, RSR) = \{BR, P4\}, \beta$ 为图 4.5 所示.

规则 7: (非正则对称型 R 型尺寸标注)

$\alpha = ISR, f(A, ISR) = \{BR, P4\}, \beta$ 为图 4.6 所示.

规则 8: (正则非对称型 R 型尺寸标注)

$\alpha = RAR, f(A, RAR) = \{BR, P4\}, \beta$ 为图 4.7 所示.

规则 9: (非正则非对称型 R 型尺寸标注)

$\alpha = IAR, f(A, IAR) = \{BR, P4\}, \beta$ 为图 4.8 所示.



图 4.4

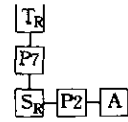


图 4.5

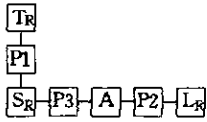


图 4.6

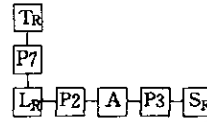
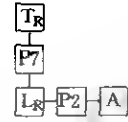


图 4.7



规则 10: (R 型尺寸标注的轮廓线)

$\alpha = BR, f(P4, BR) = \{A, RSR, ISR, RAR, IAR\}, \beta$ 为图 4.9 所示.

规则 11: (7 种双箭头匹配模式)

$\alpha = TWO, f$ 为 Normal. $\beta = TWO1 | TWO2 | TWO3 | TWO4 | TWO5 | TWO6 | TWO8.$

规则 12: (箭头匹配状态为 TWO_1)

$\alpha = TWO1, \beta = TWO5 | TTWO1, f$ 为 Normal.

规则 13: (箭头匹配状态为 TWO_5, 对称正则型双箭头尺寸标注)

$\alpha = TWO5, f$ 为 Normal, β 为图 4.10 所示. (其中 $\lambda \in \{L, A, C, D, M\}$, 下同).



或

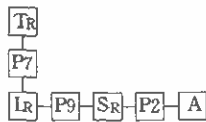


图 4.8



图 4.9

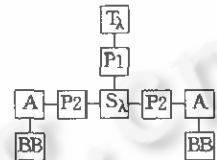


图 4.10

规则 14: (非正则非对称型双箭头尺寸标注)

$\alpha = TTWO1, f$ 为 Normal, β 为图 4.11 所示.

规则 15: (箭头匹配状态为 TWO_2)

$\alpha = TWO2, \beta = TWO6 | TTWO2, f$ 为 Normal.

规则 16: (箭头匹配状态为 TWO_6, 非正则对称型双箭头尺寸标注)

$\alpha = TWO6, f$ 为 Normal, β 为图 4.12 所示.

规则 17: (正则非对称型双箭头尺寸标注)

$\alpha = TTWO2, f$ 为 Normal, β 为图 4.13 所示.

规则 18: (箭头匹配状态为 TWO_3, 正则对称型双箭头尺寸标注)

$\alpha = TWO3, f$ 为 Normal, β 为图 4.14 所示.

规则 19: (箭头匹配状态为 TWO_4)

$\alpha = TWO4, \beta$ 为 $TWO8 | TTWO4, f$ 为 Normal.

规则 20: (箭头匹配状态为 TWO_8, 非正则对称型双箭头尺寸标注)

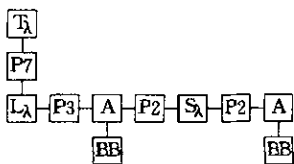


图4.11

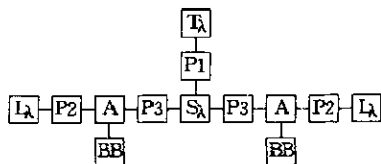


图4.12

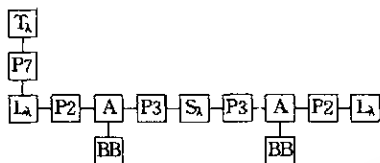


图4.13

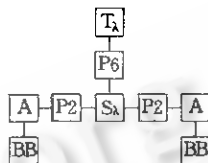


图4.14

$\alpha = \text{TWO}8$, f 为 Normal, β 为图 4.15 所示.

规则 21: (正则非对称型双箭头尺寸标注)

$\alpha = \text{TTWO}4$, f 为 Normal, β 为图 4.16 所示.

规则 22: (双箭头型尺寸标注的尺寸界线和轮廓线)

$\alpha = \text{BB}$, $f(\text{P4}, \text{BB}) = \{A\}$, β 为图 4.17 所示.

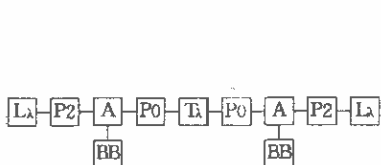


图4.15

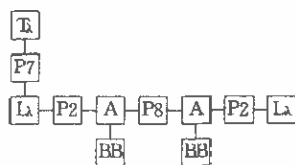


图4.16

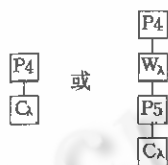


图4.17

运用以上的网状文法,可以生成前面所述的 47 种箭头型尺寸标注子模式.对于图 4.1 a 的尺寸标注,依次运用规则 1、规则 11、规则 12、规则 13、规则 22 可以推导出图 4.1 b 的网状结构.

5 后 记

基于上述网状文法的机械工程图尺寸标注的识别与理解系统已在 HP 工作站上用 C 语言实现.它能有效地识别和理解上述的机械工程图尺寸标注的 27 种模式和 48 种子模式,使原来图中的线和箭头、字符有机地组合成一组组尺寸标注,每一个图素的功能都得到了解释,从而赋予计算机以人类智能去理解尺寸标注.该系统为重建三维型体实现机械工程图的理解奠定了基础,还能为尺寸驱动等三维 CAD/CAM 系统提供支撑数据.

机械工程图的尺寸标注非常复杂,有些特殊的尺寸标注本文没作讨论.有待进一步扩充尺寸标注文法,以适应所有的尺寸标注.是否能将本文思想扩展到其它应用领域的图纸(如地图、土建工程图)的识别与理解,有待进一步研究.

参 考 文 献

- 1 Jarvis J F. The line drawing editor: schematic diagram editing using pattern recognition techniques. *Computer Graphics and Image Processing*, 1977, **6**:452—484.
- 2 Karima M, Sadhal K S, Mcneil T O. From paper drawings to computer aided design. *IEEE CG & A*, 1985, **5**(2): 27—39.
- 3 Nagasamy V, Langrana N A. Engineering drawing processing and vectorization system. *CVGIP*, 1990, **49**(3):379—397.
- 4 Dori D, Pnueli A. The grammar of dimensions in machine drawings. *CVGIP*, 1988, **42**:1—18.
- 5 Dori D. A syntactic/geometric approach to recognition of dimensions in engineering machine drawings. *CVGIP*, 1989, **47**:271—291.
- 6 Dori D. Preprocessing of engineering drawings for 3D reconstruction. Proc. First International Conference on Systems Integration, Morristown, NJ, April 1990.
- 7 Haralick R M, Queeney D. Understanding engineering drawings. *Computer Graphics and Image Processing*, 1982, **20**(3):244—258.
- 8 Lang L. Large-format scanners—market heats up as new products and improved technologies are introduced. *Computer Graphics World*, May 1989:85—90.
- 9 国家标准局. 机械制图. 中华人民共和国国家标准 GB4457~4460—84, GB131—83, 中国标准出版社, 1984.

WEB GRAMMAR OF DIMENSIONS IN ENGINEERING DRAWINGS

Min Weidong, Tang Zesheng and Tang Long

(CAD Center, Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Recognizing and understanding dimensions in mechanical engineering drawings are the basis of recognizing and understanding these drawings. According to the national standard GB4458—84 of China, dimensions are classified into 27 patterns and 48 subpatterns whose mathematical descriptions are given. A web grammar based on arrow-head—match patterns is presented to describe dimensions.

Key words Dimension, recognition, understanding, pattern, web—grammar.